La ventilation mécanique en IRM chez l'enfant. Contraintes anesthésiques

S. Sifeddine*, R. Badaoui**, N. Hassi**, M.B. Taoudi**, M. Ossart**

Résumé

Au début de l'IRM, tous les patients nécessitant une ventilation contrôlée étaient exclus de cet examen.

A l'heure actuelle, l'IRM, examen anodin en soi, apporte des éléments importants pour le diagnostic de nombreuses pathologies.

Les progrès de l'équipement anesthésique ont contribué à faciliter et élargir la pratique de l'IRM, notamment chez l'enfant. Les respirateurs disposés en dehors de la salle d'IRM posaient des problèmes considérables de ventilation, la longueur des tuyaux pouvant atteindre 9 mètres, voire même 11 mètres.

Par la suite, certains respirateurs de moindre charge ferromagnétique ont pu être introduits dans l'enceinte magnétique. La charge doit être inférieure à 1 %. Le Servo 900 *paraît être le respirateur qui permet le mieux une ventilation convenable en salle d'IRM.*

Bien que la charge ferromagnétique de ces respirateurs soit réduite, ils sont nécessairement disposés à distance des patients avec allongement des tuyaux de ventilation, ce qui en modifie les conditions habituelles d'utilisation. Cet allongement des tuyaux augmente de façon considérable le volume compressible. Dans notre étude, qui a porté sur 35 enfants de 4 à 45 kg, l'augmentation du volume compressible est en moyenne de 2 à 3 ml.kg^{-1} pour des tuyaux de 3 mètres de long. Pour obtenir une normoventilation, il faut au volume courant habituel de 10 ml.kg^{-1}, ajouter 2 à 3 ml.kg^{-1} supplémentaires.

Summary

Early use of magnetic resonance imaging (MRI) excluded patients needing mechanical ventilation.

However magnetic resonance imaging is an innocuous investigation and affords important elements to the diagnosis of many pathologies.

Improvement of anaesthetic equipments have led to enlarge MRI applications considerably. Ventilations situated outside the MRI room required very long tubing, to 9-11 m.

Although the ferromagnetic charge of presently used ventilators is greatly reduced, it is still necessary to keep them at some distance from the patient, with tubing of about 3 m, even in children. Therefore the compressible gas volumes are larger than the usual ones.

For a tube length of 3 m, about 2-3 ml.kg^{-1} should be added to the standard tidal volume (10 ml.kg^{-1}), so as to obtain safe normoventilation.

* CHG de Compiègne,
Département d'Anesthésie-Réanimation,
60200 Compiègne Cedex.
** CHU Hôpital Nord,
Département d'Anesthésie-Réanimation,
80054 Amiens Cedex 1.

Tirage à part
Dr S. Sifeddine.

Mots clés
IRM.
Anesthésie pédiatrique.
Ventilation mécanique.

Manuscrit reçu en janvier 1994, accepté en janvier 1994.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) a beaucoup accru les possibilités d'investigation radiologique.

Les signaux de résonance sont observés pour la première fois en 1945. Par la suite ce phénomène est amélioré et exploité dans de nombreux domaines. Mais c'est en 1977 qu'il trouve un terrain d'application médicale grâce aux techniques d'imagerie et d'informatique.

L'IRM est un examen d'une parfaite innocuité ; cependant sa réalisation impose des contraintes d'environnement et des conditions de travail particulières à l'anesthésiste.

L'absence d'appareils peu ferromagnétiques avait réduit au début le nombre des patients qui pouvaient bénéficier de la scannographie par résonance magnétique. Par ailleurs la mauvaise coopération de certains patients compromettait beaucoup la qualité des images obtenues et justifiait le recours à des techniques d'anesthésie et d'assistance ventilatoire.

La ventilation mécanique est possible en salle d'IRM, mais y revêt certaines particularités. L'éloignement du respirateur et par conséquent l'utilisation de tuyaux de longueur plus importante entraînent une majoration de l'espace mort, ce qui expose au risque d'hypoventilation alvéolaire ; ce risque est encore plus grand s'il s'agit d'enfants. Les paramètres ventilatoires classiquement utilisés doivent donc être modifiés.

Ce travail est basé sur une évaluation clinique et gazométrique de la ventilation contrôlée dans le contexte de l'IRM. Le but initial était de rechercher

les paramètres de réglage permettant une normoventilation.

Matériel et méthode

Echantillon d'étude

Très peu d'anesthésies générales avec ventilation contrôlée sont réalisées en IRM et le réglage de la ventilation est souvent approximatif.

Notre travail portait sur l'appréciation des paramètres cliniques et gazométriques de la ventilation mécanique utilisant des tuyaux de 3 mètres. Il avait pour objectif de déterminer le volume compressible et d'aborder le problème de la réinhalation des gaz expirés, donc du risque potentiel d'hypercapnie.

Cette étude a été réalisée dans le service d'anesthésie pédiatrique afin de proposer un schéma de ventilation au cours de cet examen. Elle a porté sur 35 anesthésies générales chez des enfants dont le poids variait de 4 à 45 kg, répartis de la façon suivante :

- 20 patients de poids inférieur à 30 kg ;
- 15 patients de poids supérieur à 30 kg.

Ont été exclus tous les patients dont l'examen a été réalisé dans une posture autre que le décubitus dorsal ou le Trendelenburg, ceci dans le souci de limiter tous les facteurs pouvant interférer sur le rapport ventilation/perfusion (VA/Q) et sur la capnie.

Caractéristiques du matériel utilisé

Le diamètre des tuyaux varie en fonction du poids ; il est de 10 mm pour des poids inférieurs à 30 kg, et de 20 mm pour des poids supérieurs. Par ailleurs, afin de ne pas majorer l'espace mort, seul l'humidificateur Vygon Hygroflux® a été choisi, pour son espace mort très faible. Pour des poids inférieurs à 30 kg, l'espace mort y est de 2 ml, il est de 13 ml pour les poids supérieurs. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles des humidificateurs Fischer-Paykel® qui ont un espace mort plus important (adulte : espace mort de 750 ml ; enfants, de 250 ml), ce qui majore davantage le volume compressible.

Surveillance peranesthésique et recueil des paramètres

Le recueil des différents paramètres se fait toutes les 15 minutes et ce pendant une heure.

Ces paramètres sont :
- le volume insufflé,
- le volume expiré,
- la pression d'insufflation,
- et la fraction expirée de CO_2 (FE CO_2).

Les gaz du sang artériel sont mesurés après une heure de ventilation.

Résultats

Appréciation du volume compressible

Pour tous les patients le volume compressible a été calculé à partir de la formule suivante [18]

$$VC = (PP/60) \times (FR/20) \times VE$$

Volume compressible = VC, Pression de pause = PP, Fréquence respiratoire = FR, Volume expiré = VE.

Cette formule a été établie à partir de paramètres respiratoires préréglés de la façon suivante :
- pression de travail à 60 cmH_2O,
- volume minute à 10 $l.min^{-1}$,
- fréquence respiratoire à 20 $c.min^{-1}$.

Le volume minute expiré correspond au volume compressible par minute à une pression de pause de 60 cmH_2O, le patient n'étant pas connecté. La formule précédente n'a été utilisée qu'une fois le patient relié au respirateur.

Le *tableau I* résume les différents volumes compressibles établis à partir de la fréquence respiratoire ; ce paramètre varie en fonction de l'âge et du poids.

Le volume compressible rapporté au poids varie en moyenne de 1,8 à 3 $ml.kg^{-1}$.

Evolution des paramètres de ventilation

Tous les patients ont été ventilés avec un volume courant de 12 à 13 $ml.kg^{-1}$ de poids corporel.

La surveillance des différents paramètres au cours de l'examen a permis de les classer en deux groupes selon le caractère évolutif :

- Paramètres invariables : la fréquence respiratoire préaffichée n'est pas modifiée pendant l'anesthésie ; il en est de même de la pression d'insufflation.
- Paramètres variables : nous avons noté dans les 15 à 20 premières minutes une augmentation du volume expiré et une diminution concomitante progressive de la $FeCO_2$. Ces deux aspects sont schématisés sur la *Fig. 1*.

Résultats de la gazométrie

Variation du pH (voir Tabl. II)

Variation de la $PaCO_2$ (Tabl. III)

La majorité des patients présentent une alcalose respiratoire avec hypocapnie.

Variation de la PaO_2 (Tabl. IV)

Tous les patients sont hyperoxygénés.

Tableau I

Fréquence respiratoire/min	18	20	25	30
Poids (P) (kg)	> 45	45-25	25-10	< 10
Volume compressible (VC) (ml)	80	70	30	20
VC/P	1,8	1,8-2,8	1,8-3	2

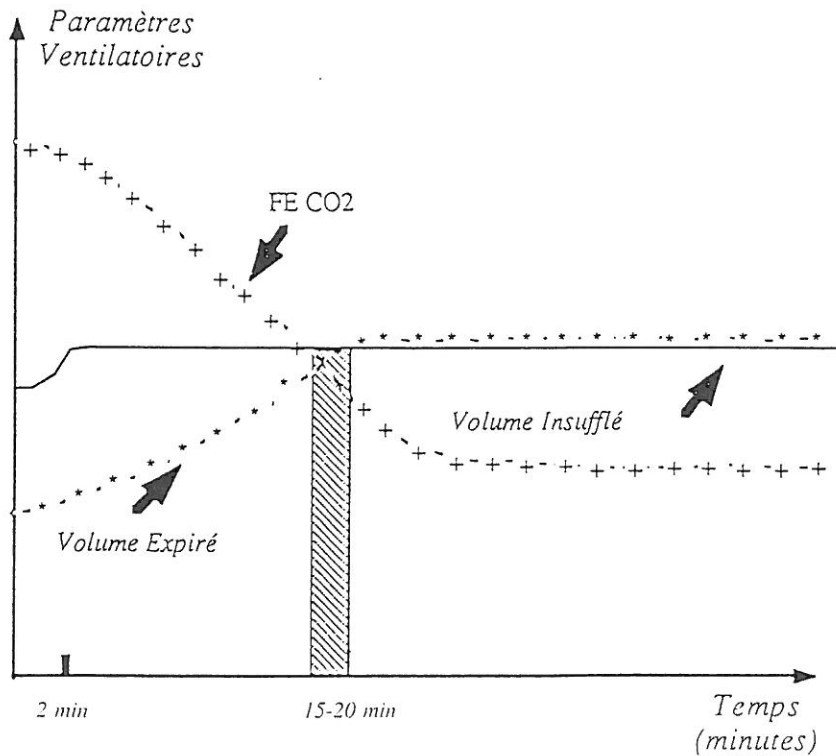


Fig. 1

Tableau II

pH	7.30-7.35	7.35-7.40	7.40-7.45	7.45-7.55
Nombre de patients	0	2	3	30

Variation du pH.

Tableau III

$PaCO_2$ (mmHg)	25-30	30-35	> 35
Nombre de patients	33	0	2

Variation de la $PaCO_2$.

Tableau IV

PaO_2 (mmHg)	100-150	150-200	> 200
Nombre de patients	0	2	33

Variation de la PaO_2.

Commentaires et discussion

Indications d'une assistance ventilatoire

Les techniques d'anesthésie et le choix du monitorage en IRM ont été ces derniers temps l'objet de plusieurs publications [1-7, 13-15, 17].

Le choix de l'anesthésie doit prendre en compte divers facteurs :

– un environnement particulier relativement stressant, surtout pour les enfants,

– un temps d'examen de 1 à 2 heures en moyenne,

– la nécessité d'une position stable et de l'immobilité au cours de l'examen.

Ces facteurs peuvent autoriser le choix d'une simple sédation, mais le risque de dépression respiratoiure et la difficulté d'une surveillance rapprochée justifient dans certains cas le recours à l'anesthésie générale avec intubation.

Si le maintien en ventilation spontanée est aisément concevable chez l'adulte, chez l'enfant, par contre, une ventilation contrôlée est hautement souhaitable afin de prévenir les accidents respiratoires souvent dramatiques. Cependant très peu d'accidents ont été notés dans la série publiée par Dunn et coll. dont le choix a toujours porté sur la sédation sans intubation [3].

Choix du respirateur

Les respirateurs, outre leur ferromagnétisme réduit au minimum, doivent comporter les caractéristiques suivantes :

– une grande précision dans le réglage,

– une grande fiabilité dans la surveillance,

– un coût d'entretien raisonnable.

La gamme des respirateurs répondant à ces critères est assez réduite. En France, le Servo 900 est le respirateur le plus couramment utilisé ; aux USA le Monogam Simv 220 Ventilator [3, 9, 10] ; et en Allemagne le Dräger Ventilog [16]. La plupart de ces respirateurs sont des relaxateurs de volume.

Quel que soit le type de respirateur utilisé, l'allongement des tuyaux impose une augmentation des volumes insufflés.

Détermination du volume insufflé

Très peu d'études concernent la ventilation contrôlée chez l'enfant pour IRM [8, 10-12, 16]. Cela est dû en grande partie au faible pourcentage d'enfants qui bénéficient de cette technique jugée lourde au regard du caractère non invasif de l'examen.

Cependant, lorsque la ventilation contrôlée est instituée, il est fondamental d'augmenter le volume des gaz insufflés pour compenser l'augmentation du volume de compression secondaire à l'allongement des tuyaux respiratoires.

En l'absence de cette correction, l'augmentation de l'espace mort détermine un phénomène de réinhalation (rebreathing) qui peut être à l'origine de perturbations métaboliques graves.

A l'opposé, si l'hyperventilation peut avoir certains avantages, les effets délétères d'une forte hyperoxie ont été suffisamment soulignés chez l'enfant. Il en est de même de l'hypocapnie.

C'est pourquoi il est essentiel que la ventilation contrôlée dans le contexte de l'IRM se situe dans les limites de la normoventilation, surtout quand il s'agit d'enfants.

Le volume compressible calculé dans notre série varie en moyenne entre 2 et 3 $ml.kg^{-1}$ de poids corporel. Après compensation du volume courant, le volume insufflé est en moyenne de 12 à 13 $ml.kg^{-1}$. Tous nos patients ont été ventilés sur cette base.

Si la surveillance clinique, portant sur l'ampliation thoracique et la coloration des téguments, conserve toute sa valeur dans la surveillance de la ventilation artificielle, ces éléments ne permettent pas isolément de préjuger d'une normoventilation.

Les mêmes données de ventilation ont été rapportées par Bidabé [1]. Mais cette étude ne souligne pas l'évolution des différents paramètres de surveillance de la ventilation en cours d'anesthésie.

Courbes de volume expiré et de F_ECO_2

Le volume expiré

Tous les patients ont inhalé un mélange gazeux d'oxygène et de protoxyde d'azote dans une proportion moyenne de 50 %. Le volume expiré croît progressivement au cours de l'examen pour atteindre une valeur constante vers la 15e minute. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette observation :

– A la phase initiale de l'anesthésie, l'existence d'un gradient de diffusion alvéolo-tissulaire de protoxyde d'azote entraîne une réduction du volume expiré. L'état d'équilibre est atteint une fois que les tissus sont saturés en protoxyde d'azote. Le gradient de diffusion s'annule et le volume expiré rejoint le volume insufflé puis reste constant.

– Principes d'écoulement des gaz : le délai de remplissage des tuyaux augmente proportionnellement à leur longueur. Dans cette étude, ce délai se situe entre 15 et 20 minutes.

Ces deux hypothèses peuvent paraître séduisantes, mais elles ne pourront être confirmées que par des études plus précises.

La F_ECO_2

De nombreux facteurs influent au cours de l'anesthésie sur la $F_E CO_2$. Il s'agit :

– du métabolisme cellulaire,
– du débit cardiaque,
– de l'élimination pulmonaire du CO_2.

Aussi, la prise en compte de ce paramètre comme critère d'une bonne ventilation est-elle assez délicate. Son analyse doit tenir compte de tous les facteurs de variation.

L'approfondissement progressif de l'anesthésie, en agissant tout aussi bien sur le débit cardiaque que sur le métabolisme, peut expliquer la diminution de la F_ECO_2. Seule, l'analyse des gaz du sang permet donc de juger avec certitude de la normoventilation.

La gazométrie

L'alcalose respiratoire est la perturbation métabolique la plus couramment observée avec un pH supérieur à 7,43 pour 30 patients.

Au bout d'une heure de ventilation la $PaCO_2$ est inférieure à 30 mmHg pour 33 patients. Cette hypocapnie peut constituer un réel danger pour la perfusion cérébrale, le débit sanguin cérébral, et la pression intracrânienne, surtout sur des terrains prédisposés. Un tel risque peut justifier dans certains cas une réduction du volume courant aux valeurs habituelles de 10 $ml.kg^{-1}$ au bout de 15 minutes. Cependant, on doit conserver à l'esprit le risque d'une hypoventilation alvéolaire si l'examen se prolongeait de façon importante.

Une légère hypercapnie a été notée chez deux patients. Il s'agissait dans les deux cas d'une pathologie abdominale. Le premier enfant présentait un volumineux kyste péritonéal, et le second une sténose iléale avec une importante stase intestinale. Dans les deux cas une hyperpression abdominale avec réduction de la cinétique diaphragmatique et amputation du champ ventilatoire peut expliquer cette perturbation. De telles circonstances sont assez rares en IRM.

Conclusion

La valeur diagnostique de l'IRM dans la pratique médicale actuelle est capitale. La nécessité d'une ventilation contrôlée ne doit plus faire renoncer à cet examen.

L'anesthésie générale avec ventilation mécanique doit être la technique de choix chez l'enfant, afin de prévenir les risques fréquents d'accidents respiratoires.

Actuellement, l'existence d'appareils de ventilation peu ferromagnétiques a réduit de façon sensible les contraintes de surveillance.

En dépit de sa faible charge ferromagnétique, le respirateur doit être installé à distance du patient. Mais cette dispo-

sition n'empêche pas une normoventilation à condition de corriger les volumes insufflés en fonction de l'augmentation du volume compressible. ■

Références

[1] **Bidabé A.M., Floras P., Gin A.N., Boulard G., Caillé J.M.** – Imagerie par résonance magnétique : risques potentiels et impératifs dans le choix du monitorage. *Ann. Fr. Anesth. Réanim.*, 1988, *7*, 59-67.

[2] **Barnett G.H., Ropper A.H., Johnson K.A.** – Physiological support and monitoring of critically ill patients during magnetic resonance imaging. *J. Neurosurgery*, 1988, *68*, 246-250.

[3] **Dunn V., Goffman C., Gowan J.E.** – Mechanical ventilation during magnetic resonance imaging. *Magn.-Res. Imaging*, 1985, *3*, 169-172.

[4] **Ehman R.L., MacNawara M.T., Pallack M.** – Magnetic resonance imaging with respiratory gating : Techniques and advantages. *Am. J. Roentgenol.*, 1984, *143*, 1175-1182.

[5] **Finn E.J., Chiro G., Brooks R.A., Stato M.** – Ferromagnetic materials in patients : detection before MR. *Radiology*, 1985, *156*, 139-141.

[6] **Gaffey C.T., Tenford T.S., Dean E.E.** – Alterations in electrocardiograms of baboon exposed to DC magnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 1980, *1*, 209.

[7] **Gard K., Sorensen M.B., Boelt P., Henrikson O.** – Monitoring of anesthesia during magnetic resonance imaging. *Ugeskr-Laeger*, 1992, *154*, 198-201.

[8] **Groh J., Weber W., Baierl P., Seidere M., Peter K.** – Anesthesia for magnetic resonance tomography. *Der Anesthetist*, 1988, *37*, 384-386.

[9] **Hipp R., Nuber H., Eisler K., Tempel G.** – Anaesthesic der kernspntomographie. *Der Anaesthetist*, 1987, *36*, 19-22.

[10] **Jontsch H., Lechner G.** – Radiologic monitoring of the mechanically ventilated patient. *Klin. Anaesthesiol. Intensivther.*, 1991, *39*, 169-182.

[11] **Neumark J., Petrcek W., Schramm N.** – Artificial respiration and anesthesia in nuclear resonance imaging. *Der Anaesthetist*, 1989, *38*, 273-277.

[12] **Neumark J., Petrcek W.** – Patientenferm Beatmung und narkose. *Der Anaesthetist*, 1989, *38*, 273-277.

[13] **Nivoche Y., Fort L., Mailleux M., Goefel R.** – Imagerie en résonance magnétique : implications anesthésiques. ARCAD, Bichat, 1986, 97-108.

[14] **Nixon C., Hirsh N.P., Ormerod E.C., Johnson G.** – Nuclear magnetic resonance. *Anaesthesia*, 1986, *41*, 131-177.

[15] **Pavlicek W., Geinsinger M., Castler L., Barrowski G.P., Meaney T.F., Bream B.L.** – The effects of nuclear magnetic resonance with cardiac pacemaker. *Radiology*, 1983, *147*, 149-153.

[16] **Prien T., Miele B., Bongartz G., Wendt M.** – Magnetresonanz tomographie ein patientennaber system fur beatmung und uberwachung. *Der Anaesthetist*, 1989, *38*, 323-326.

[17] **Selleden H., Dechateau P., Ekman G., Linder B., Saaf J.** – Circulatory monitoring of children during anaesthesia in low field magnetic resonance imaging. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 1990, *34*, 41-43.

[18] Manuel d'utilisation du Servo 900 - Siemens.